

低温超导 “热”起来

二硼化镁颠覆了过去人们奉为金科玉律的制备优良超导体的条件。它在接近 40K 这个相对“暖和”的温度时就成为超导体，这将使它具备广泛的应用前景。

撰文 / PAUL C. CANFIELD 和 SERGEY L. BUD'KO

(原文: Low-Temperature Superconductivity Is Warming Up, pp62~69, April 2005)

抛光后的二硼化镁线材横截面展现了它是 100% 致密，并且由很小的无定向排列的颗粒构成。这些颗粒将光线向不同方向反射，从而显现出五颜六色。二硼化镁线材用于对这种材料超导性的基础研究。图中二硼化镁线材的直径为 0.14 毫米。

设想

你在家里后院走着走着，突然在一个你自以为洞悉一切的角落里发现了金矿脉；再设想一下电影《豪门新人类》(Beverly Hillbillies)里，Jed Clampett 发现石油从地下滚滚而出时的惊喜。2001 年初的几个星期，当有研究人员称二硼化镁在温度接近 40K 时电阻为零，即具备超导性，固体物理学界就沉浸在这种惊喜之中。

这种简单化合物早在上世纪 50 年代就被研究过，数十年来由于这样那样的寻常用途出现在一些实验室里，没人曾想到它隐藏着极大价值。尽管 40K (−233°C) 听起来很低，但这几乎已经是金属化合物超导材料临界温度最高值的两倍 (研究界和工业界广泛使用的铌合金，临界温度为 23K)。比

起制备铌合金超导所需要达到的技术条件成本，达到40K转变温度的成本要低得多。它可能的应用包括超导磁铁和输电线。

与高温超导材料(铜氧化物在高达130K时具备超导性)不同的是，二硼化镁看上去更像传统的超导体，不过它是一种奇异的变体。在数十年探寻高转变温度超导材料的过程中，对于应当尝试什么样的元素组合，物理学家已经总结出一些经验规律。另外，很多人认为对于传统超导材料而言，23K可能已经接近于可以达到的转变温度上限。二硼化镁出人意料地推翻了这些金科玉律，清除了获得更高温度的屏障。

对二硼化镁了解的推进速度着

态物理学界通过互联网交流比以往更加频繁。这两个因素，加上具有高转变温度的新型简单超导体的前景，汇合成了争论激烈的学术盛宴。

发现的确定

起初，Akimitsu发现的新闻只是通过电子邮件或口口相传，没有研究论文或电子文本。当会议几天后，消息传到研究小组时，我们提出了一系列问题：我们是否可以制成高纯固态二硼化镁超导材料？（实验室药品架上的二硼化镁是并非那么纯净的粉末）它真的是在接近40K就具备超导性了吗？（近二十多年一直有所谓的“USO”出现，即“未经确定的超导物质”），这是一些据说

迅即清空了所有的实验炉，开始试图制备二硼化镁。

制备工作一开始就让人煞费心机。二硼化镁是一种金属间化合物，即由两种(或以上)的金属元素形成的化合物。制备金属间化合物最简单的方法是将两种元素熔融在一起。但是由于硼和镁的熔点(镁的熔点为650℃，硼的熔点高于2000℃)相差很大，这个方法根本行不通。因为镁在1100℃以上即开始沸腾，因此在目标化合物形成之前，镁就已经蒸发殆尽了，或者像土话说的，镁“长腿跑了”。

但是镁的蒸发启发了另一种方法：我们可以将一块镁和一些硼粉末密封在钽(惰性金属)容器内，再

二硼化镁具有相对较高的转变温度，这一点违背了以往寻找高临界温度金属间化合物的经验规律之一。

实令人惊叹：在2001年1月中旬的一次会议上，东京青山学院大学(Aoyama Gakuin University)的教授Jun kimitsu宣布了这一发现；仅仅2个月后，美国物理学会3月的年会上就这一论题做了约100分钟的报告；70多篇研究论文的电子版张贴在arxiv.org预印本文献库。这些活动的涌现源于以下原因：首先，一旦找到了制备方法，生产比较纯净的二硼化镁相当简单；其次，2001年，凝聚

有非常高的转变温度，但却得不到其他研究者证实的物质)。如果二硼化镁确实具备超导性，我们能够揭示其超导的机理吗？我们能够描述其基本性质吗？令人高兴的是，对上述问题，我们的答案都是“可以”。

kimitsu教授的发现传闻成了我们和另外一些研究小组一段狂热而美妙的研究工作的起点。我们小组的专长是研究金属化合物的物理性质，因此当我们一听说这个发现便

将其加热到足以使镁融化但不至于沸腾的高温(比如950℃)。镁具有较高的蒸气压，实际上，950℃平衡状态下，1/3体积的镁蒸气与液态镁共存。我们认为浓度这样高的镁蒸气可以扩散进入固态硼，从而制得丸状二硼化镁。确定的是，我们发现采用这种方法，不到2小时即制得了非常纯净的二硼化镁，呈类似砂岩的松散烧结状态。这样在听说传闻后的3天内，我们就制成了这些丸状二硼化镁，得以验证其在接近40K时的超导性。

知道了如何制备二硼化镁和验证了它的超导性，我们的下一个关键问题来了：这种材料是不是以那种长期确立的理论——BCS理论(这个名字由3位发现者的姓氏首位字母组成)来解释的传统超导材料，还是一种奇异的新类型[见66页]超导材料？如果是属于新类型，那么它将会是意义深远的科技发现。而如果它是传统的BCS超导体，那么需要对它异常高的转变温度做出解释，但是这种材

概述 / 二硼化镁

- 2001年研究人员发现貌似平常的二硼化镁在低于40K的温度下表现出超导性。这个温度几乎是同类超导材料临界温度的两倍。它的实际工作温度上限约在20K~30K。
- 这个温度可以通过用液氮、液氢或闭环制冷冷却得到，所有这些冷却方法耗费的成本都远低于铌合金需要的液氦冷却成本，同时过程也简单得多。工业上铌合金在约4K的温度下广泛应用。
- 当掺杂碳或其他杂质，二硼化镁大致相当于或优于铌合金在磁场中传输电流时保持的超导性。它的潜在应用包括超导磁铁，电力传输线和灵敏磁场检测器。

料的应用前景将更加令人鼓舞。

一些研究人员出于某些原因认为二硼化镁不是标准的BCS超导体。首先，在高温超导材料于1986年被发现之前的20多年，20K左右一直是临界转变温度的上限。这个事实促使一些理论家推论30K左右是BCS理论框架内，超导化合物可能达到的温度上限。高温超导材料铜氧化物的转变温度远远超过了这个数值，但是它们并非BCS超导材料；其次，二硼化镁具有相对较高的转变温度(临界温度T_c)，这一点违背了以往寻找高临界温度金属间化合物的经验规律之一：能够参与向超导态相变的电子数越多，转变温度越高。而不论是硼还是镁都没有为二硼化镁带来特别多的电子。

一个非常直接的实验可以辨别一种超导材料是否遵循BCS理论。这个理论的一个关键是晶格振动。设想晶格的重正离子被有力的弹簧(化学键)限制在特定位置。热等激发因素表现为离子按照特征频率振动。BCS理论预言超导体的转变温度正比于晶格振动的频率。小质量材料的物体比大质量材料的同样物体具有更高的特征频率，日常生活中的物体像葡萄酒杯或吉他弦都遵循这个规律。通过使用镁或硼的另一种同位素，我们可以制得不同质量原子构成的二硼化镁，这将改变晶格振动频率，进而按照一定机制改变临界温度T_c。

自然界中，硼有两个稳定的同位素存在：硼10和硼11。BCS模型最简单的预言就是用纯净的硼10和硼11分别合成的二硼化镁的两个样品的T_c将有0.85K的差异。使用我们最初烧结的丸状二硼化镁，我们得到的差值是1K。这个T_c差值比简单预言值高一点，可以用BCS理论来解释——这表示硼的振动对超导性的影响比镁的影响更重要[见67页]。

结果和理论预言值0.85K非常接近，这表明二硼化镁极有可能是BCS超导体，只是一个具有很高转变

制作线材

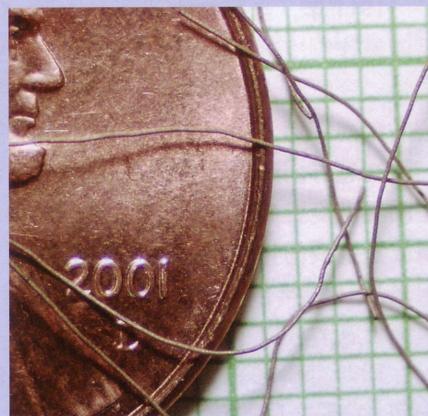
在二硼化镁的超导性被公布的两个星期内，我们设计了一种制作二硼化镁线材段的工艺。二硼化镁可由镁蒸气和硼纤维反应制得。这个过程可在接近1000°C，几小时内反应完成：硼吸收环境中的镁蒸气，生成二硼化镁(反应过程中硼纤维膨胀了很多)。设想一下一块干海绵在潮湿的天气里吸收空气中的水分。这种工艺适用于那些可以成百米在市面上买到的硼纤维，它们经加工从直径0.1~0.3毫米变成细纤维。

这些线材段对于基础研究很有用，可以拿来做一些二硼化镁本征物理性质的测量。在这些线材段被用于实际应用前，需要加上一层导电的、具有延展性的线套来提供结构支撑(这个导电外壳还可以在材料失去超导性的情况下输送电流，以防二硼化镁过热)。适合的线套至今尚未开发出来。

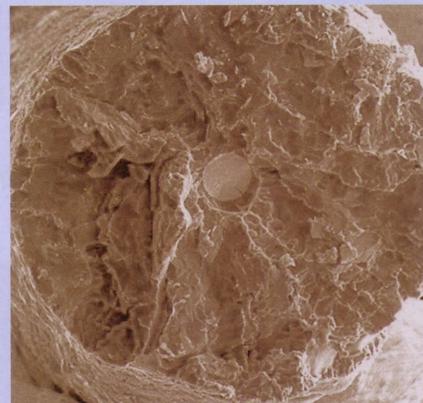
一个更常用的合成线材的方法叫“粉末填管法”。这种工艺将镁和硼的粉末或二硼化镁粉末倒入管中，再将管拉成线状，然后线材经反应或退火形成牢固的结构。这种工艺已经生产出几十米到几百米长不等的研究样品。

尽管二硼化镁是一种极为年轻的超导材料，一些公司已经对其加以关注并力图将其商业化。其中包括二硼化镁导体有限公司(Diboride Conductors)和超技术研究公司(Hyper Tech Research)。这两个都是小型公司，致力于制备二硼化镁线材并改进其性质。感兴趣的还有特种材料公司(Specialty Materials)，这是一家专业生产硼纤维的大型材料公司。

——P.C.C. 和 S.L.B.



线材通过镁蒸气和硼纤维反应制得。



二硼化镁线材的截面图显示线材中央核心是直径0.015毫米的硼化钨。

温度的极端例子。而至于BCS超导体30K左右温度上限的预言显然不成立。这是个好消息，因为标准的金属间化合物BCS超导体更容易应用开展工作，而且比铜氧化物超导材料更容易制成有用的线材。实际上，我们灵光乍现，突然想到可以简单地将硼纤维暴露于镁蒸气中[见63页图]

制得二硼化镁线材。这些二硼化镁线材比烧结的丸状二硼化镁更利于测量，并有着更广泛的应用，比如说用作磁铁。

超导体的用途

尽管超导性只在极低的温度下才出现，但是它在当今却有着广泛的

超导的历史

1911年，当荷兰物理学家 Heike Kamerlingh Onnes 用液氦作制冷剂研究金属的低温电特性时，他发现了超导性。令所有人惊奇的是，当水银被冷却到 4.2 K 时，它的电阻突然消失。这个阈值被称为临界温度，即 T_c 。

在超导研究最初的 50 多年里，逐渐发现了其他一些临界温度更高的材料。所有这些超导材料都是纯净金属或是金属间化合物（两种或两种以上金属元素构成）。但是从 1960 年代一直到 1980 年代中期， T_c 的最大值一直停留在 25K 以下。

1986 年许多铜氧化物高温超导性的发现改变了这一切。发现之后的几年内， T_c 值一路上冲，汞钡钙铜氧化物的 T_c 达到约 130K。这可是极为兴奋的一段时间，然而，不久人们认识到这些材料的电阻消失无法用超导性来源的最高理论——BCS 理论[见 66 页图]来解释。近 20 年的努力，仍然没有确切的理论解释为什么铜氧化物具有超导性。

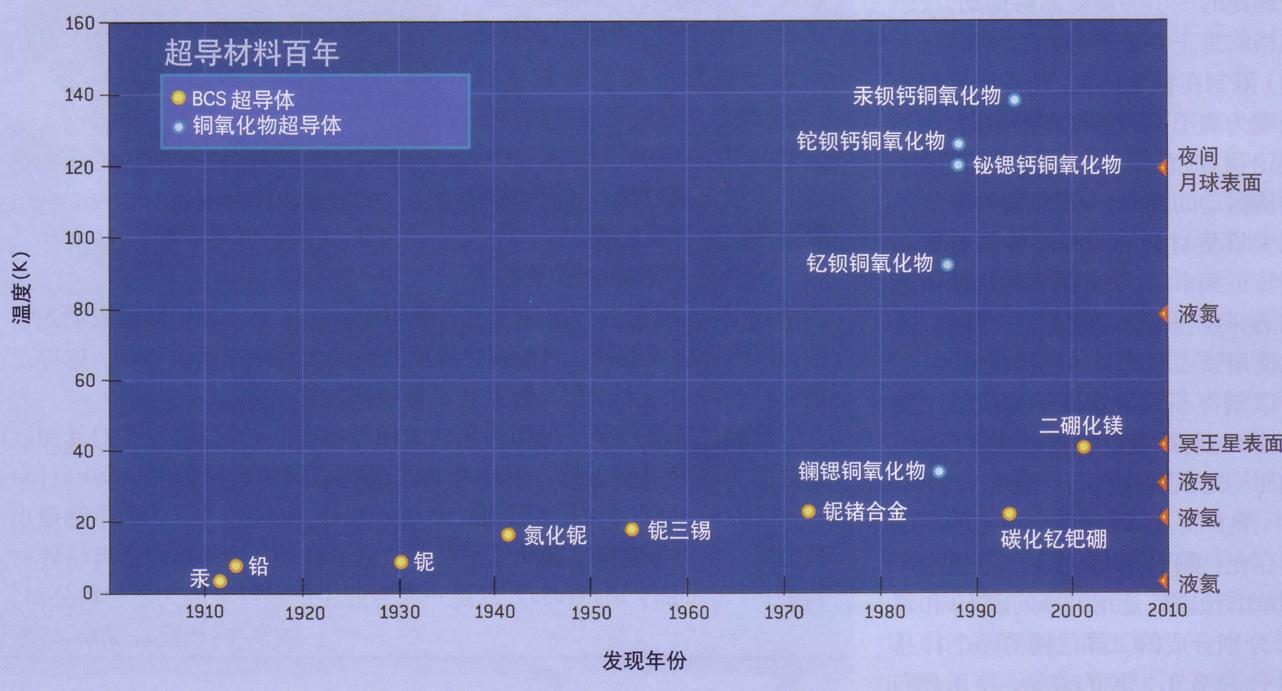
这些化合物还带来一些物理学上的挑战。起初，它

们难以被制备成高纯或单晶态，使得对其基础性质的测量很困难。此外，线材的合成不易。与金属间超导材料不同，形成这些铜氧化物的单个颗粒需要彼此排列整齐，这样其线材才具备有用的工艺特性。这些难题使研究人员和工程师期望找到这样一种物质，它既要有金属间超导体比较容易对付的材料性质，又要有远高于 20K 的临界温度。

直到新世纪来临，人们终于可以更容易、更便宜地获得超导态了。对于氧化物，77K 左右即可实际应用。达到这个温度相对简单，将材料浸入液氮中即可。以前发现的铌三锡等金属间化合物在实验室和作为医用磁铁的应用温度接近 4K，需要使用液氦来获得。

2001 年，发现了 40K 时的简单金属间化合物二硼化镁超导材料，几乎是以往其他金属间超导材料临界温度的 2 倍，也几乎正是医生们（或工程师们）所需要的。

——P.C.C. 和 S.L.B.



用途，在未来会有更多应用。最明显的用途源于超导体可以传输强电流而无能量损失或电阻热的能力。超导磁铁可以产生 20 特斯拉以上的磁场（比典型的冰箱磁贴的磁场强度高约 500 倍）。这类低温超导磁铁（和磁场强度稍弱些的）应用在实验室和医院

的核磁共振成像仪上。这些磁铁一般为铌化合物和合金，其销量一直在稳步增长。

超导体的另一种在强电流条件下的应用是无损耗电力传输线，它可以比非超导材料传输线传输更高密度的电流。迄今，研究人员已经成

功测试了几条铜氧化物线材样品，测试材料被液氮冷却到接近 70K。

通常，为了能在实际应用发挥超导体作用，化合物需要被冷却到大大低于它们的临界温度，一般约 $0.5T_c$ 到 $0.7T_c$ 。这是因为在 T_c 附近，材料的超导性会遭到大电流或强磁场

的破坏。因此, T_c 为 20K 可能意味着操作温度需要 10K, 达到这样低的温度就需要液氦来冷却超导体了, 这是相当昂贵且困难的选择。

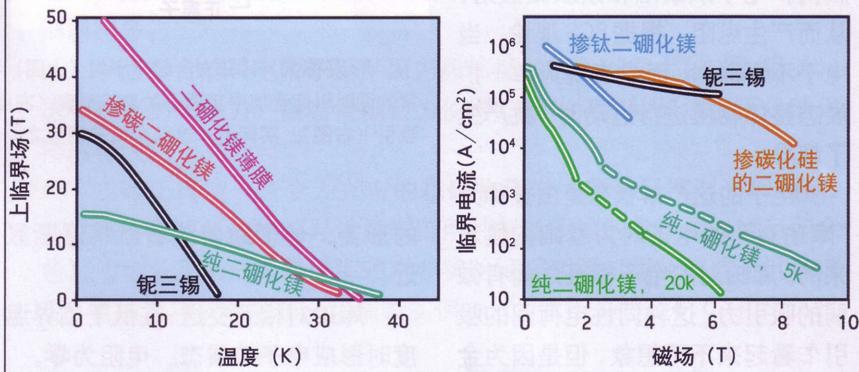
应用研究学界之所以对二硼化镁感兴趣, 是因为比起目前使用的铌合金和化合物等低 T_c 材料, 它更容易被冷却到可行的操作温度。二硼化镁可以经液氢、液氮, 或者相当便宜的闭环冷却器方便地冷却到 20K 以下。

但是如果这种设想成为现实, 二硼化镁需要具有良好的超导特性。研究人员对这种超导材料的混合态, 即超导体的超导性受到磁场破坏时的状态(大多数实际应用中超导体所处的状态) 特别感兴趣。弱磁场下, 超导体将从内部对磁场产生排斥, 从而保持其超导性, 不会产生混合态。然而, 中等磁场强度下, 磁场将会以小束磁通管的形式(即所谓的磁涡流)穿透超导体。这些磁通管的内部处于非超导态, 而超导体的其余部分仍保持超导态。

这种混合态也显示了超导性的

改进性能

保持磁场中传输电流时的超导性在应用中很重要。图中数据显示掺入杂质是如何改进二硼化镁性能的。它的性能已经达到或超过工业上惯用的铌三锡。左图显示, 在所有温度下, 掺碳的二硼化镁线材段和掺有未知量杂质的二硼化镁薄膜都比铌三锡可以经受更高的磁场强度(上临界场)。右图数据显示(除特别注明, 都是在 4K 温度下取得的) 掺碳化硅的二硼化镁与铌三锡的负载电流能力相当。但是其他变量则距铌三锡有相当差距。虚线数据为插值取得。



超导性。温度越低, 超导体可以抵抗越强的磁场[见上图]。

幸运的是, 材料的上临界场可以通过改变化合物的制备方式而加以

经证明, 当约 5% 的硼被碳取代, 二硼化镁的上临界场翻了一番都不止。这是该材料一个绝妙的重要改进。

而且, 威斯康星大学麦迪逊分校

为了抵抗这种效应, 通过向超导体中引入适当的缺陷, 可以固定磁涡流。

许多有用特性。当施加的磁场增加, 磁通管占据的比例逐渐增加, 直到超导材料全部被磁通管占据后, 材料变成非超导态。材料失去超导性的这一点的磁场强度被称为上临界场, 是决定超导材料实用度的重要特性。

超导材料大多数的应用涉及中等强度磁场(磁场强度足以有使用价值, 但又不足以强到完全破坏超导性), 因此研究者的目标是最大限度提高混合态存在的温度和磁场强度范围。温度的作用不能忽略, 因为超导材料的上临界场随温度变化。在稍低于 T_c 时, 上临界场接近等于零, 也就是说此时最弱的磁场也足以破坏

调节。通常通过加入某种杂质实现。例如, 当用碳取代二硼化镁中的一些硼, 便可以大大提高上临界场。我们研究小组, 还有其他研究者都已

的 David C. Larbalestier 研究小组证明二硼化镁薄膜还有更高的上临界场, 比铌三锡的还要高。薄膜上取得的数据带来了一个大疑团: 是什么

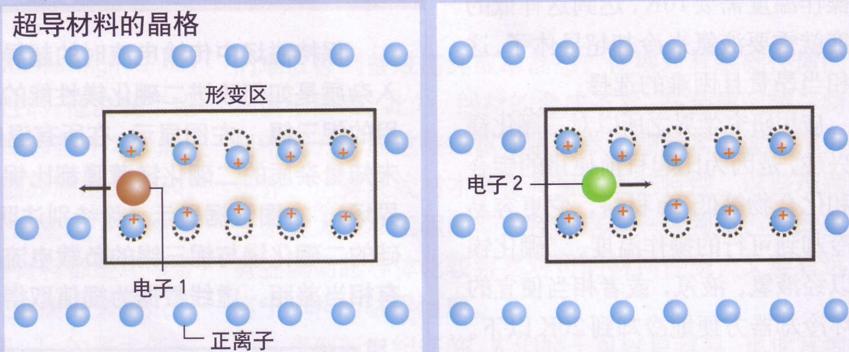
作者简介

Paul C. Canfield 和 Sergey L. Bud'ko 供职于爱荷华的美国能源部 Ames 实验室。同时, Canfield 是爱荷华州立大学的物理与天文学教授。他的研究领域是新材料与新现象的设计、开发、制备和表征, 主要研究金属化合物的低温电磁场。Bud'ko 的研究兴趣包括新材料的热力学、磁场和输运特性, 金属与半金属的量子振动, 高压强磁场低温的极端条件下材料的物理特性。本文作者十分感谢 R. Wilke, D. Finnemore, C. Petrovic, G. Lapertot, M. Angst, R. Ribeiro 和 N. Anderson 卓有成效的合作。他们的工作得到了美国能源部能源基础科学办公室能源研究主任的支持。

BCS 理论预言

1957年物理学家John Bardeen, Leon N. Cooper 和 J. Robert Schrieffer 提出了对金属超导机理的理论解释, 理论就以他们的姓氏首字母命名。在一个常规的非超导金属内, 电子从缺陷和杂质处散射, 从而产生电阻。根据BCS理论, 当电子不再散射, 而是表现为单一扩展态整体物质进行运动时, 就产生了超导。

电子的这个新状态是由被称为“库珀对”的电子对为基础构建起来的。库珀对的电子相互之间有微弱的吸引力。这种同性电荷间的吸引乍看起来不可想象, 但是因为金属是由正离子和电子共同构成的, 当库珀对中的一个电子在金属中移动, 沿它的尾迹马上就会引起正离子的形变。这个瞬态的净正电荷就可以吸引下一个电子。晶格形变以这种方式松散的耦合电子(更准确地说, 在耦合过程中有特征频率的晶格振动)。打个并不太恰当的比方: 两个孩子在一张大蹦床上跳跃, 尽管两个孩子间没有相互吸引力, 但是由于他们跳跃下蹦床产生

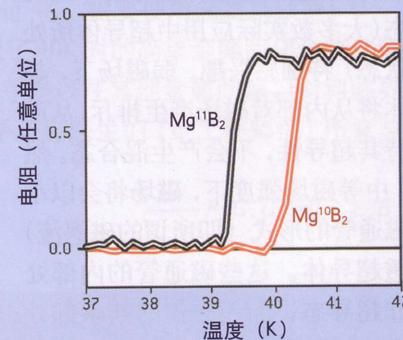


形成称为“库珀对”的电子对(上图)导致最终产生了超导性。一个电子在离开原位置的同时引起金属中正离子的晶格形变(左图)。接着, 第二个电子被正电荷引起的集中力吸引(右图)。实际上, 这两个电子相互之间具有微弱的引力。

的形变, 他们跳着跳着就将逐渐靠近。

库珀对相互交迭, 在低于临界温度时形成电子扩展态, 电阻为零。

简化的BCS理论预言临界温度 T_c 取决于目标材料的三个性质: 1. 可以参与超导态的电子数目(数目越多, T_c 越高); 2. 晶格振动特征频率与库珀对电子耦合有关(频率越高, T_c 越高); 3. 晶格形变和电子的耦合强度(强度越高, T_c 越高)。数十年来, 对高 T_c 值的寻找一直集中在对这三个相关性质进行优化, 特别是提高前两项特性。二硼化镁似乎是由它较高的电子-晶格耦合强度



当被冷却至临界温度(约40K)以下时, 二硼化镁的电阻降为零。纯净的硼10和硼11制成的样品的临界温度不同。BCS理论预言了这种明显的同位素效应, 表明二硼化镁的超导性是传统BCS理论框架下的超导性。

而具有高临界温度的。

——P.C.C. 和 S.L.B.

将上临界场增加得如此之高? 是少量的氧吗? 还是什么其他元素偷偷潜入, 不知不觉掺了进去? 抑或是二硼化镁薄膜结构张力的影响? 不论答案在哪里, 显然二硼化镁是极具潜力的超导磁铁材料, 不仅可以在较高温度下工作, 而且可能比铌三锡(目前是高温强磁场中工作的首选超导磁铁)更胜任在高磁场强度下工作。

应用物理学家感兴趣的第二个超导特性是临界电流密度。它描述的是超导体在保持零电阻前提下可以负载的最大电流。当电流密度超过临界电流密度, 磁涡流(样品中非超导

态的小区域)开始移动。一旦这个区域开始移动, 能量就开始损失, 即材料的电阻不再为零。为了抵抗这种效应, 通过向超导体中引入适当的缺陷, 可以固定磁涡流(实际上是被“钉住”)。通常可以利用减小材料的单晶(或颗粒)大小达到加强固定磁涡流的目的, 这是因为颗粒减小后固定磁涡流的颗粒边界表面积增加。另一个加强固定磁涡流的方法是加入另一种材料的微掺杂质, 例如氧化钇或二硼化钛。

当前, 将二硼化镁制成有用的超导材料面临的最大挑战之一, 是在

强磁场强度条件下增加其临界电流密度。低场强时纯净态二硼化镁的临界电流密度与铌三锡相当; 但是随着磁场强度增高, 它的临界电流密度会迅速下降。二硼化镁如果要用作磁铁, 那么这个特性会成为障碍, 因为这时我们需要其提供强磁场。另一方面, 发现这种材料的超导性之后的4年里, 研究界已经在临界电流密度上取得了相当大的进步, 包括低磁场强度时, 以及可能更为重要的高磁场强度时。这个领域的研究非常活跃, 而且有迹象显示物理学家很快可以取得更深入的进展, 对如何在二硼化镁

中提供良好的固定位有更深的了解。

过去，现在和未来

二硼化镁的超导性发现是数十年潜心研究的结果，同时也明白地提醒我们：自然界并不总是理会我们徒劳地企图描述它的经验规律。尽管二硼化镁已经在人们的视线里存在了约50年，但是部分由于它不符合我们所认为的金属间超导材料的样子，从未对它进行过超导性测试。幸好在探索新材料和新特性的研究中，自然界之声依然盖过了人类偏见的喧嚣。在过去的4年里，人类对于二硼化镁超导性的了解以风驰电掣般的速度深入。我们现在对高纯二硼化镁的性质有了清晰的认识，学习了如何对这种材料加以改进，来扩大其适用的磁场和电流密度范围。它在20~30K温度范围的性质得以改进，看起来高电流密度的应用（如磁铁）可以使用液氢和液氦作制冷剂或闭环制冷就可以实现。目前已经制作出了二硼化镁涂膜线的原型，甚至已经制作出了最初的二硼化镁磁铁。但是，未来仍需更多工作，以优化这种超导体的性质，了解其冶炼技术，还要了解可能的线材表面涂膜材料的冶炼技术。

总体看来，二硼化镁很好的发展前景。实际上，如果向氢经济的转型得以实现，二硼化镁将真正获得应有的重视。例如，如果需要利用球形燃料反应堆大量生产氢气[参见“下一代核电站”，科学，2002年4月]，这些氢气需要用一定的方式运输。一种方式是利用绝热的液体输送管道，输送温度保持在20K（氢气的沸点）以下。管道内二硼化镁制成的无损耗电缆分享了隔热层内的部分空间，由此这些管道构成了低温系统。尽管从目前看来，这种系统更像科幻小说而非技术现实，但是它已经作为严肃的科研内容被了出来。

继首个铜氧化物超导材料发现后，研究人员已经发现了其他许多铜氧化物超导材料。但是发现二硼化

结构与键合力

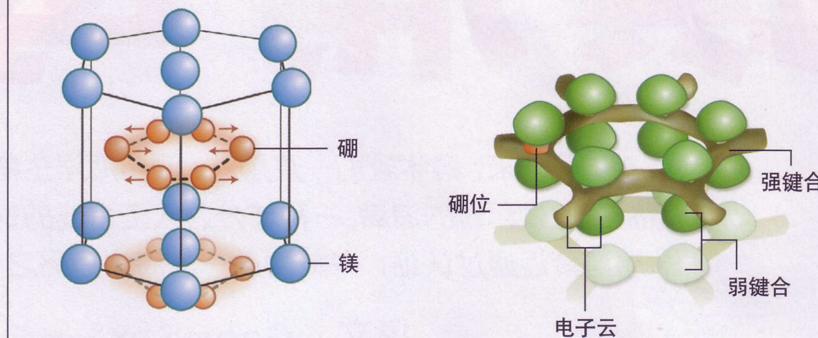
二硼化镁令人吃惊的高转变温度的主要原因之一是某些电子与一定晶格振动间的相互作用力较强。这种强作用力源于材料结构和键合力。

二硼化镁中的硼原子形成六角蜂窝状（左图，红色）。在二硼化镁中，这些硼原子层被镁层分隔（左图，蓝色）。负责普通导电功能以及超导性的电子与硼层有关，这些电子也参与材料中两种不同类型键合之一（右图）。在六角形平面内的键合很强，而硼层与硼层间的键合力则弱得多。

平面键合的导电电子受平面内晶格振动的影响很大（左图，箭头）。这种很强的作用力，或者说耦合力使得二硼化镁在较高温度下仍能保持超导性。

二硼化镁使一个令人兴奋的基础物理学问题重又摆到人们面前：有没有一种超导体的超导性是来自两种截然不同的电子团（绿色和金色），它们分别形成大量的库珀对？实验证据表明二硼化镁属于这种情况，也是这种现象的第一个清晰实例。

——P.C.C. 和 S.L.B.



镁之后的四年里，还没有发现任何相关化合物具有类似异常高的临界温度。发现氧化物的超导性如同发现了一片新大陆（遍布尚待开发的广袤领域）；发现二硼化镁的超导性，却更像在已经开发完善的群岛之中

突然发现一座世外孤岛。我们尚不知道，它是否就是这群岛屿中的最后一座，还是仍然有另外的惊喜在等待着我们。

[何斯征 / 译 杨光 / 校]

何斯征，浙江省能源研究所工程师。

参考文献

Superconductivity at 39 K in Magnesium Diboride. Jun Nagamatsu et al. in *Nature*, Vol. 410, pages 63–64; March 1, 2001.

Magnesium Diboride: One Year On. Paul C. Canfield and Sergey L. Bud'ko in *Physics World*, Vol. 15, No. 1, pages 29–34; January 2002.

Energy for the City of the Future. Paul M. Grant in *Industrial Physicist*, Vol. 8, No. 1, pages 22–25; February/March 2002. Available at www.aip.org/tip/INPHFA/vol-8/iss-1/p22.pdf

Magnesium Diboride: Better Late than Never. Paul C. Canfield and George W. Crabtree in *Physics Today*, Vol. 56, No. 3, pages 34–40; March 2003.

Superconductivity in MgB₂: Electrons, Phonons and Vortices. Edited by Wai Kwok, George W. Crabtree, Sergey L. Bud'ko and Paul C. Canfield. *Physica C*, Vol. 385, Nos. 1–2; March 2003.